Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-04

強震動予測および歩行実験に基づく津波避難困難地域の評価ー和歌山県串本町を例としてー

秦，吉弥 ； 湊，文博 ； 常田，賢一 ； 小山，真紀 ； 鍬田，泰子 ； 山田，雅行

(Citation)
土木学会論文集B3（海洋開発）,71(2):I_671-I_676

(Issue Date)
2015

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(Rights)
©2015 公益社団法人 土木学会

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/90003291

土木学会論文集B3(海洋開発), Vol. 71, No. 2, I_671-I_676, 2015.

強震動予測および歩行実験に基づく津波避難困難地域の評価—和歌山県串本町を例として—

秦　吉弥[1]・湊　文博[2]・常田　賢一[3]・小山　真紀[4]・鍬田　泰子[5]・山田　雅行[6]

[1]正会員　大阪大学　大学院工学研究科（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
E-mail: hata@civil.eng.osaka-u.ac.jp
[2]学生会員　大阪大学　大学院工学研究科（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
E-mail: fminato@civil.eng.osaka-u.ac.jp
[3]フェロー会員　大阪大学　大学院工学研究科（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1）
E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp
[4]正会員　京都大学　大学院医学研究科（〒606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町53）
E-mail: koyama.maki.3e@kyoto-u.ac.jp
[5]正会員　神戸大学　大学院工学研究科（〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1）
E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp
[6]正会員　(株)ニュージェック　技術開発グループ（〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東2-3-20）
E-mail: yamadams@newjec.co.jp

和歌山県串本町では，南海トラフ巨大地震の発生によって，強震動の作用のみならず，本震発生数分後に巨大津波の来襲が予想されている．本稿では，串本町の津波来襲予想地域における強震動予測地点(525地点)から指定避難場所までの歩行所要時間に関する計測実験を行うことで避難歩行時間を評価した．そして，避難余裕時間もしくは避難困難度に基づく二つの手法を用いて津波避難困難区域の評価を行った．両手法を津波来襲予想地域に適用した結果，北東部の埋立地が津波避難困難区域として抽出された．さらに両手法を用いて，津波避難施設が北東部の埋立地に今後新設された場合の減災効果についても言及した．

Key Words : *strong motion, tsunami, time management, walking experiment, tsunami evacuation facility*

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震(M_W9.0)の発生を受け，南海トラフにおいても，M_W9.0程度の巨大地震(以後，南海トラフ巨大地震と呼ぶ)を想定した強震動予測が概ね1 kmメッシュ毎に実施[1)]されている．和歌山県串本町は，以下に示す理由により，南海トラフ巨大地震時に非常に大きな強震動の作用が予想される．第一に，図-1に示すように想定震源域の近傍に位置[1)]していること(震源特性の影響)，第二に，街地・平地(津波来襲予想地域[2)]：図-2参照)の大部分が砂洲地盤で構成[3)4)5)]されていること(地盤震動特性の影響)，第三に，近年の大規模地震においても砂洲地盤上の地域では深刻な被害が報告[6)]されていること，第四に，歴史地震(1946年南海地震)において強震動の作用による被害が串本では比較的大きかったことが報告[7)]されていること，第五に，想定南海地震(M_J8.4)の推定地震動による深刻な建物被害が予想[8)]されていること，などがその理由である．

この点に関して著者ら[9)]は，串本町の津波来襲予想地域において高密度の常時微動計測を実施し，地盤震動特性を評価することで，南海トラフ巨大地震によるSMGAモデル[1)]に基づく強震波形計算を行い，串本町の津波来襲予想地域に作用する強震動を高密度に予測し

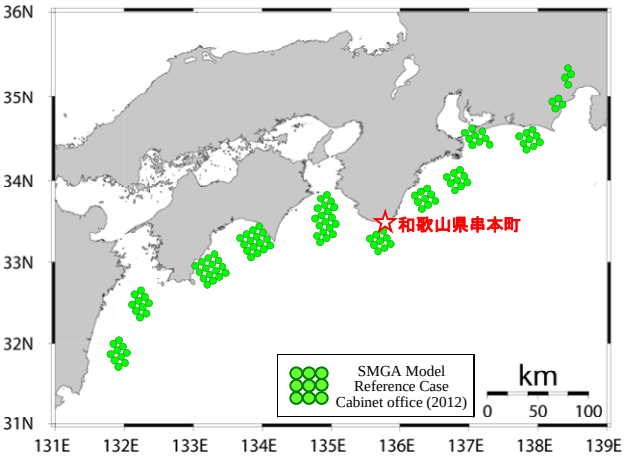

図-1　南海トラフ巨大地震におけるSMGAモデル[1)]と串本町

ている．さらに，予測した強震動の瞬間計測震度[10]の時刻歴に基づき避難不可能時間を計算し，強震動の作用が津波避難に及ぼす影響について検討[11]を行っている．

一方で，串本町の街地・平地では，南海トラフ巨大地震の発生後数分で巨大津波の来襲が予想[2),12)]されている．しかしながら，和歌山県による避難困難区域の設定[13]などでは，上述した避難不可能時間を含んだ避難移動開始時間が一定(5分)として取り扱われているだけでなく，避難移動速度も一定(30 m/min)と設定されており，対象とする地域の特性が十分に考慮されているとは言い難いのが現状である．したがって，巨大津波来襲前における(a)強震動作用中の避難不可能時間(以後，避難不可能時間と呼ぶ)と(b)強震動作用後の指定避難場所までの避難所要時間(以後，避難所要時間と呼ぶ)を現地の状況を踏まえて評価し，両時間に関するハイブリッド評価(複合評価)を実施することは非常に重要である．

そこで本稿では，まず，串本町の津波来襲予想地域を対象に避難歩行時間に関する計測実験を行い，避難所要時間を評価した．次に，避難不可能時間と避難所要時間を組合せることによって，避難余裕時間もしくは避難困難度に基づく二つの手法を用いて津波避難困難区域を抽出した．最後に，抽出した避難困難区域において津波避難施設が今後新設された場合の効果について言及した．

2. 強震動作用中の避難不可能時間

著者ら[11]は，串本町における津波来襲予想地域(面積1.06 km^2：**図-2**参照)において高密度常時微動計測(単点で525地点計測)を行っている(概ね45m四方に一つの常時微動計測点を設けている)．そして，津波来襲地域内における既存強震観測点(K-NET串本)と常時微動計測地点(計524地点)での常時微動H/Vスペクトルの比較に基づき，常時微動計測点(計524地点)におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)を評価している．さらに，南海トラフ巨大地震によるSMGA(基本ケース)モデル(駿河湾から日向灘までの計12個のサブイベントで構成[1)]：**図-1**参照)と経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震波形計算手法[14]の組合せに基づいて，津波来襲予想地域の高密度常時微動計測地点ごとに予測される地震動を算定することで，強震動の作用が津波避難に及ぼす影響について検討[11]を行っている．

図-3は，避難不可能時間(瞬間計測震度[10]の時刻歴に基づいて算定：**図-4**に示す一例参照)の津波来襲予想地域での分布[9),11)]である．**図-3**に示すとおり，地盤震動特性の差異などによって，同じ津波来襲地域内においても避難不可能時間に有意な差異が確認できる．ここに，隣接する地点間において避難不可能時間に数十秒程度の違いが見受けられるが，これは当該地点間における地盤震動特性(常時微動H/Vスペクトルの特性)の差異に主に起因するものである．この点に関して著者ら[15]は，串本町における津波来襲予想地域を対象に，臨時地震観測に基づくサイト増幅特性と常時微動H/Vスペクトルに基づくサイト増幅特性の比較検討を行い，両者が非常に良い一致を示すことを確認している．したがって，隣接する地点間において避難不可能時間の変化が比較的大きいことに関して一定の信頼性を有しているものと考えられる．ただし，隣り合う地点間において避難不可能時間に数十秒の相違が見受けられる地域も見受けられることから，今後は，避難不可能時間の不確実性(本質的に回避することが困難な避難不可能時間に関する予測誤差(分散)など)について詳細な検討を行っていく必要がある．

3. 強震動作用後の指定避難場所までの所要時間

串本町の津波来襲予想地域における強震動予測地点(2.参照)から高台などの避難場所までの歩行時間(避難所要

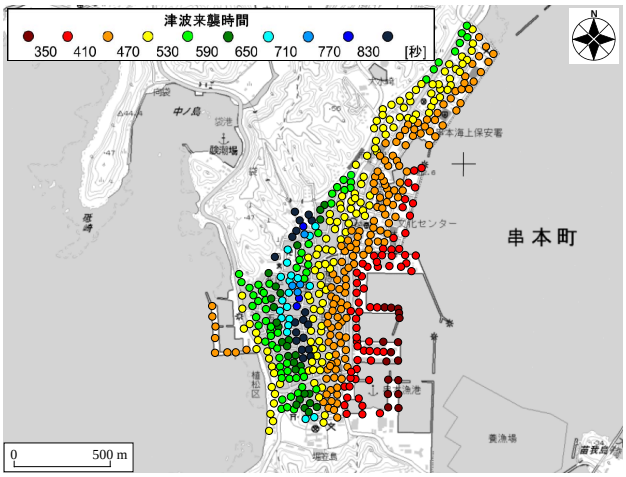

図-2 南海トラフ巨大地震による津波来襲時間[2)]の分布

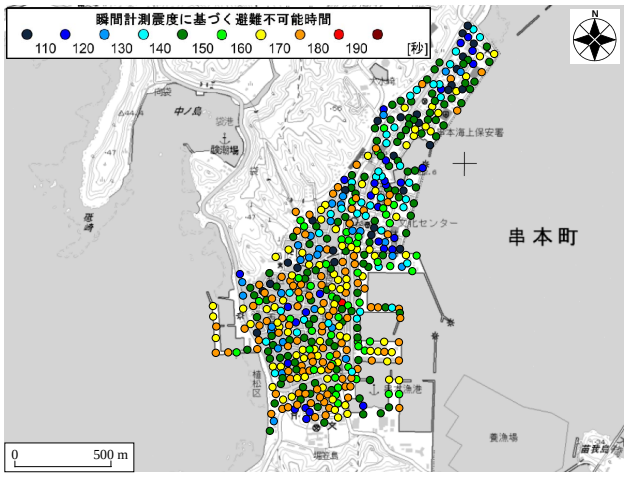

図-3 強震動作用中の避難不可能時間[9),11)]の分布

時間)に関する計測実験を行った．その際，最新の串本町における津波ハザードマップ[10]などを参考に，以下に示すように，来襲津波の予想高に対して十分な余裕高を有する 12 箇所を避難場所として選定した(以後，選定避難場所と呼ぶ)．

- 消防防災センター
- 雨天練習場付近
- 矢ノ熊踏切急傾
- 幼稚園横高台
- 成和ビル
- 図書館裏山
- 本町通り裏山
- ギオン山
- 津波避難タワー
- 雇用促進住宅
- 串本古座高校体育館
- Aコープ付近登り口

図-5は，選定避難場所に関するゾーニング結果である．ゾーニングに際しては，歩行計測実験の結果に基づいて，各々の歩行開始地点(各強震動予測地点：図-3参照)から選定避難場所までの歩行時間が最小になるようにゾーニングを施した．各強震動予測地点から対応する選定避難場所(図-5参照)までの避難所要時間(現地での歩行計測時間)の最小値の分布を図-6に示す．図-6に示すとおり，津波来襲予想地域において避難所要時間の分布に有意な差異が確認できる．ここに，歩行計測実験では，串本町の津波来襲予想地域における国勢調査(H22)の結果に基づき，図-7に示すように，単独歩行，群衆歩行，要支援者歩行の3つの避難パターンを設定した．図-7の枠内写真の示すように，単独歩行のケースは人物A(22歳男性)が単独で歩行を行い，群衆歩行のケースは人物A・人物B(25歳男性)・人物C(23歳男性)・人物D(23歳女性)が集団で歩行を行い，要支援者歩行のケースは人物Aが人物Bを背負う(おんぶする)ことによって歩行を行った．ここに，被験者の年齢層の設定が避難余裕時間に影響を及ぼすことが予想されるが，本研究では，津波避難困難

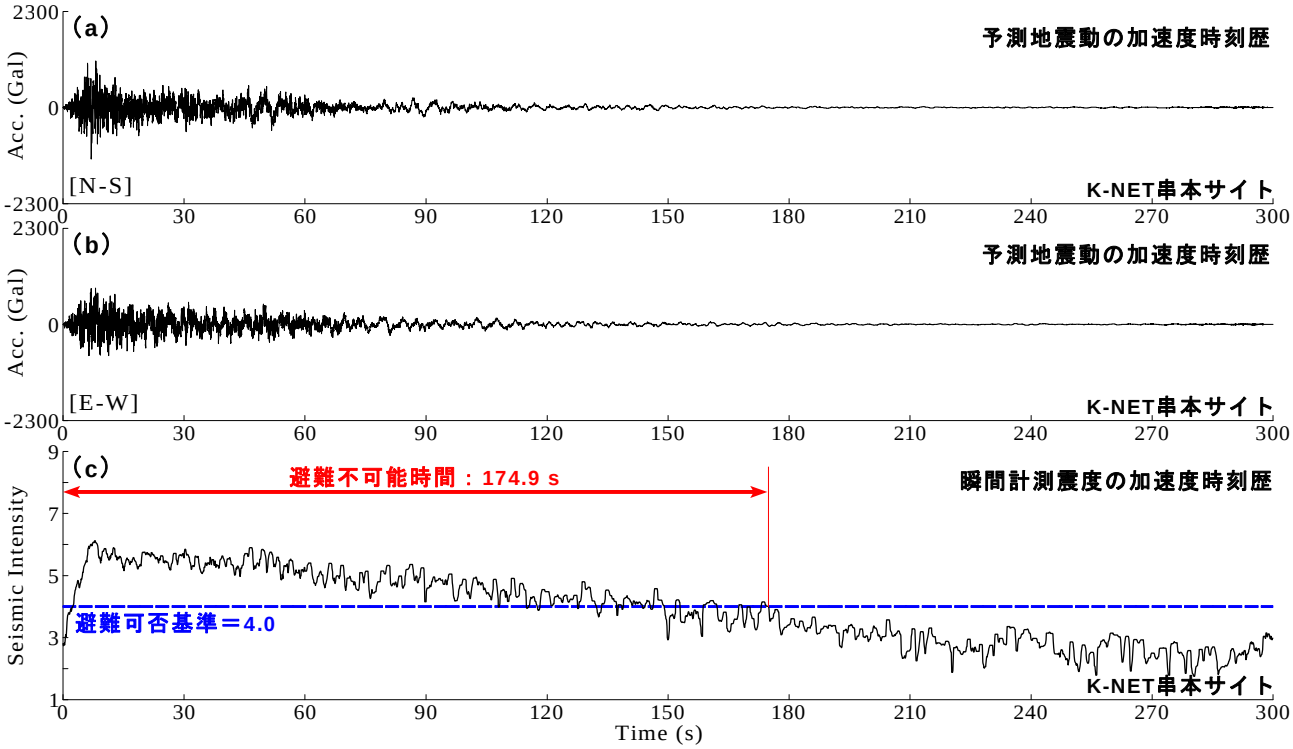

図-4　瞬間計測震度[10]の時刻歴に基づく強震動作用中の避難不可能時間[9)11)]の算定例

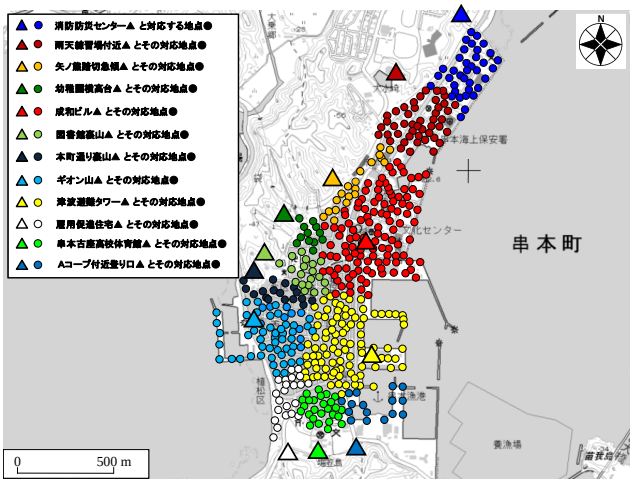

図-5　選定避難場所に関するゾーニング

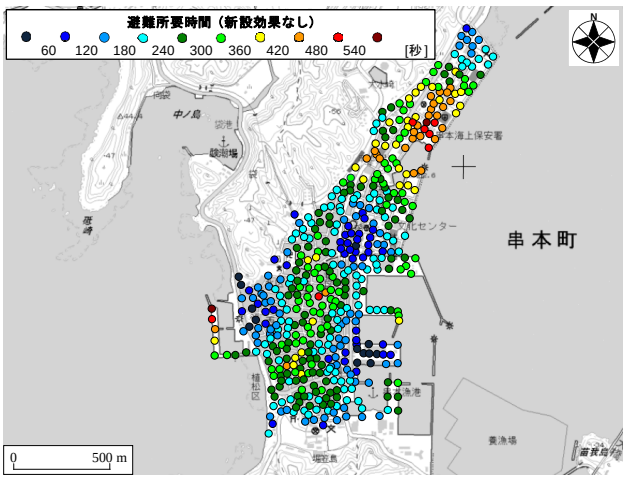

図-6　歩行計測実験に基づく避難所要時間の分布

区域の抽出を目的としているため，避難所要時間が最も短くなる22～25歳を被験者として選定し，被験者が通常通りの歩行を行うことで，平均的な歩行速度85 m/min(単独歩行)・77 m/min(群衆歩行)・65 m/min(要支援者歩行)が得られた．すなわち，被験者の年齢層の設定が後述する津波避難困難区域の抽出結果(津波避難困難区域の優先度の評価)に大きな影響を及ぼすことはない．

4. 津波避難困難区域の抽出・評価

(1) 絶対評価

図-8は，串本町の津波来襲予想地域内における避難余裕時間の分布である．ここに，避難余裕時間は，本震発生後の津波来襲予想時間(図-2参照)[2]に対して，強震動作用中の避難不可能時間(図-3参照)[9,11]と強震動作用後の避難所要時間(図-6参照)を差し引くことによって算定した．すなわち，避難余裕時間が正の値であれば避難に対して時間的余裕があるのに対し，避難余裕時間が負の値であれば避難に対して時間的余裕がないことを意味している．図-8に示すように，津波来襲予想地域において避難余裕時間の分布は一様ではなく，津波避難パフォーマンス(当該地域内の各地点が潜在的に有する津波避難に関する余裕時間)に有意な差異があることが確認できる．また，北東部の埋立地域において避難余裕時間が集中的に小さな値(負の値)を示しており，今後，当該地域において何らかの津波避難対策を講じる必要性が示唆される．

(2) 相対評価

避難不可能時間(図-3 参照)[9,11]と避難所要時間(図-6 参照)を合成することによって，津波来襲予想地域内において津波避難が相対的に困難な区域を抽出・評価した．両時間の合成(*Synthesis*)には，困難区域評価係数 K_{SYN} に基づく次式を採用[17]した．

$$K_{SYN} = C_{SM} \cdot \frac{t_{SM}}{T_{SM}} + C_{WE} \cdot \frac{t_{WE}}{T_{WE}} \tag{1}$$

ここに，t_{SM}, T_{SM}, C_{SM}は，強震動(*Strong Motion*)作用中の避難不可能時間(図-3参照)とその最大値(260 s)，及びその影響係数(0.38)である．t_{WE}, T_{WE}, C_{WE}は，歩行計測実験(*Walking Experiment*)に基づく避難所要時間(図-6参照)とその最大値(577 s)，及びその影響係数(0.62)である．影響係数は，津波来襲予想地域における避難不可能時間と避難所要時間(ともに525地点の平均値)の割合であり，両者の和が1.0になるように比率調整したものである．

図-9は，津波来襲予想地域での困難区域評価係数(その値が大きいほど避難が困難であることを意味しており最大値は1.0となる)の分布である．図-9に示すように，津波来襲予想地域において評価係数の分布は一様ではなく，津波避難パフォーマンス(当該地域内の各地点が潜在的に有する津波避難に関する困難度合)に有意な差異があることが確認できる．また，北東部の埋立地域において困難区域評価係数が集中的に大きな値を示していることから，避難余裕時間に基づく絶対的な評価結果(4.(1)参照)と同様に，今後，北東部の埋立地域において何らかの津波避難対策を講じる必要性が示唆される．

(3) 避難困難区域における対策効果

4.(1)で述べた避難余裕時間に基づく絶対的な評価結果ならびに4.(2)で述べた困難区域評価係数に基づく相対的な評価結果によれば，北東部の埋立地域において今後何らかの津波避難施設(例えば，津波避難タワー[18]など)の新設の必要性が示唆される．抽出された当該地域(串本病院解体跡地：図-8枠内写真参照)の利活用については，串本町議会において現在議論[19]がなされていることから，本節では，当該地域において，仮に津波避難施設が新設された場合の減災効果について基礎的な検討を行った．

図-10および図-11は，串本病院解体跡地に津波避難施設が新設された場合の津波来襲予想地域における避難余

図-7 避難パターンに関するゾーニングと歩行実験状況

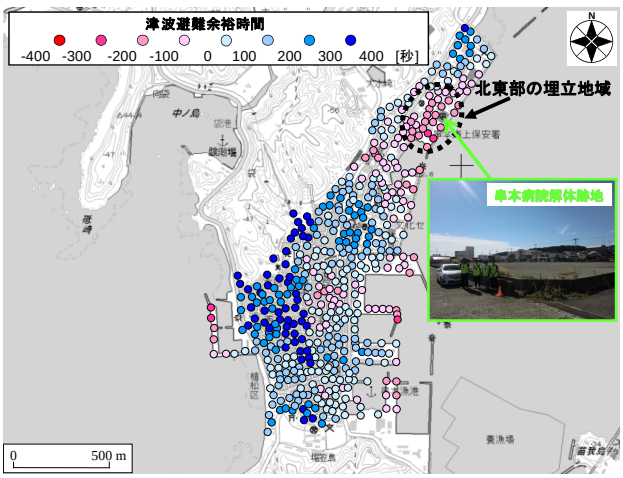

図-8 津波避難余裕時間に基づく避難困難区域の評価

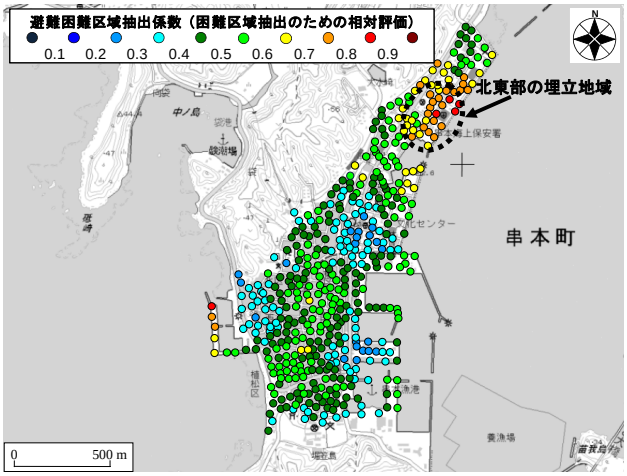

図-9　困難区域評価係数に基づく避難困難区域の評価

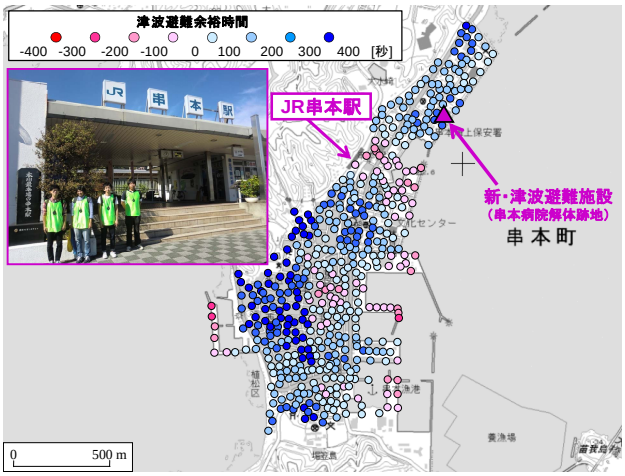

図-10　津波避難余裕時間に基づく津波避難施設の新設効果

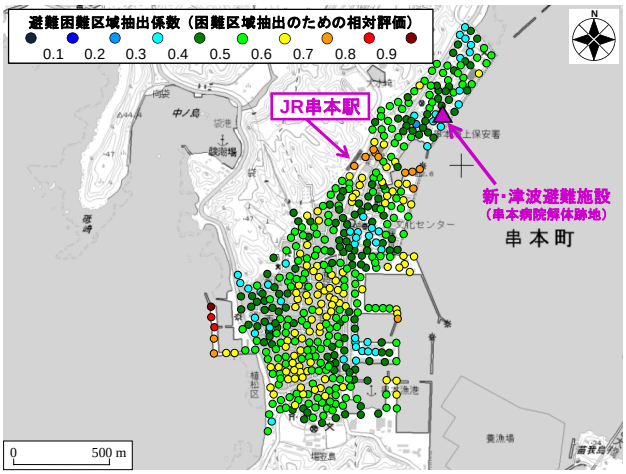

図-11　困難区域評価係数に基づく津波避難施設の新設効果

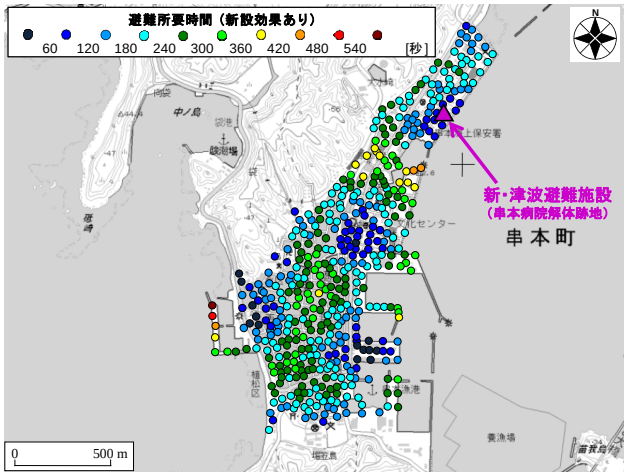

図-12 新設効果を考慮した歩行計測実験による避難所要時間の分布

裕時間および困難区域評価係数の分布である．ここに，串本病院解体跡地に津波避難施設が新設されたものと仮定して，3.と同様の要領で歩行計測実験を再度実施し，図-12に示すような避難所要時間の分布を得た．そして，その分布結果を適宜反映させることで避難余裕時間および困難区域評価係数を新たに算定した．なお，図-12と図-6を比較すると，新設位置から遠く離れた場所においても有意な差異が確認できるが，これは歩行実験が異なるためである．

図-10および図-11に示すように，津波避難施設を仮新設した北東部の埋立地域付近において避難余裕時間が比較的長く，および困難区域評価係数が比較的小さくなっていることから，津波避難施設が新設された場合の効果が両評価手法においてともに顕著に表れている．一方で，JR串本駅周辺において避難余裕時間が比較的短く，困難区域評価係数が比較的大きくなっているのが読み取れる．JR串本駅は本州最南端の駅であり（図-10枠内写真参照），土地勘のない観光客が駅周辺に多く滞在している可能性が高く，串本町内の住民以外の観光客等を考慮した津波避難対策（例えば，地域防災計画[20]への反映，観光客向けの津波避難マップの作成等）を講じていく必要がある．

5. まとめ

本研究では，和歌山県串本町の津波来襲予想地域を対象に，津波避難困難区域の抽出のための強震動予測と歩行実験の結果に関するハイブリッド評価（複合評価）を行った．以下に得られた知見を示す．

(1) 串本町の津波来襲予想地域では，同地域における地盤震動特性の差異などによって，同地域が有する津波避難パフォーマンス（瞬間計測震度の時刻歴に基づく避難困難時間）に有意な差異が存在する．

(2) 串本町の津波来襲予想地域では，既存の避難場所との位置関係などによって，同地域が有する津波避難パフォーマンス（避難場所までの歩行計測時間（避難所要時間））に有意な差異が存在する．

(3) 上記(1)の避難困難時間と上記(2)の避難所要時間の組合せを行い，避難余裕時間および困難区域評価係数を算定することで避難困難区域を評価した結果，北東部の埋立地域（串本病院解体跡地）において津波避難施設の新設の必要性が示唆される．

(4) 津波来襲予想地域内に位置するJR串本駅周辺は，土地勘のない観光客が数多く滞在している可能性が高

く，串本町内の住民以外の観光客などにも配慮した津波避難対策を今後講じていく必要性が示唆される．

今後は，串本町以外の地域に対して本研究で提案したハイブリッド評価手法を適用していきたいと考えている．

謝辞：強震動予測および歩行計測実験の実施にあたっては，串本町の住民の皆様に大変お世話になりました．

参考文献

1) 南海トラフの巨大地震モデル検討会：南海トラフの巨大地震モデル検討会(第二次報告)，強震断層モデル編―強震断層モデルと震度分布について―，内閣府防災情報 HP，2012. (last accessed: 2015/04/24)
2) 和歌山県地震・津波被害想定検討委員会：南海トラフの巨大地震及び東海・東南海・南海 3 連動地震による津波浸水想定について，和歌山県総務部危機管理局総合防災課 HP，2013. (last accessed: 2015/04/24)
3) 串本町史編さん委員会：串本町史(通史編)，第一法規出版，1071p., 1995.
4) 串本町史編さん委員会：串本町史(史料編)，第一法規出版，1094p., 1988.
5) 宍倉正展，前杢英明，越後智雄，小俣雅志，郡谷順英，渋谷典幸：南海トラフ沿いの和歌山県串本町で検出された完新世イベント堆積物，日本地球惑星科学連合連合大会 2013 年大会予稿集，Paper No.SSS31-35, 2013.
6) Reese, S., Cousins, W.J., Power, W.L., Palmer, N.G., Tejakusuma, I.G., and Nugrahadi, S.: Tsunami vulnerability of buildings and people in South Java –field observations after the July 2006 Java tsunami, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol.7, pp.573-589, 2007.
7) 建設院第一技術研究所：昭和二十一年十二月二十一日東南地震調査報告，建設院第一技術研究所概報，第十六号，昭和二十三年六月，1948.
8) 包那仁満都拉，川瀬博：強震ネットワークデータから構築した広周波数帯域統計的グリーン関数とその南海地震への応用，日本地震工学会論文集，Vol.7, No.2, pp.80-95, 2007.
9) 湊文博，秦吉弥，山田雅行，常田賢一，鍬田泰子，魚谷真基：サイト特性を考慮した南海トラフ巨大地震による和歌山県串本町における津波来襲地域での強震動の超高密度予測，第 59 回地盤工学シンポジウム論文集，地盤工学会，pp.395-402, 2014.
10) 鍬田泰子，齊藤栄：瞬間計測震度を用いた揺れ最中の避難行動可能時間の定量化，日本地震工学会論文集，Vol.10, No.5, pp.52-65, 2010.
11) 湊文博，秦吉弥，山田雅行，常田賢一，鍬田泰子，魚谷真基：高密度常時微動計測に基づく和歌山県串本町における南海トラフ巨大地震の強震動評価と津波避難に及ぼす影響，土木学会論文集，Vo.71, No.4, 2015.(掲載決定)
12) 小笠原敏記，中畑摩耶，松林由里子，堺茂樹：2011 年東北地方太平洋沖地震における住民避難行動に関する現地調査―和歌山県串本町を対象として―，土木学会論文集 B3，Vol.69, No.2, pp.I_37-42, 2013.
13) 和歌山県地震・津波被害想定検討委員会：和歌山県の津波避難困難地域と津波対策について，和歌山県総務部危機管理局総合防災課 HP，2014. (last accessed: 2015/04/24)
14) Hata, Y. and Yamada, M.: Evaluation of site amplification and phase effects in Kushimoto Town, Wakayama Prefecture, Japan, *Proc. of 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Paper No.631, Istanbul, Turkey, 2014.
15) 野津厚，長尾毅，山田雅行：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法の改良―因果性を満足する地震波の生成―，土木学会論文集 A，Vol.65, No.3, pp.808-813, 2009.
16) 串本町役場総務課：津波ハザードマップ，袋・串本・大水崎・鬮野川(東側)地区， pp.19-20, 2014.
17) 湊文博，秦吉弥，常田賢一，鍬田泰子，山田雅行，魚谷真基：ウォーキング実験に基づく津波避難困難地域の評価―和歌山県串本町を例として―，地域安全学会梗概集，No.35, pp.17-20, 2014.
18) 北出悟士，馬場研介：広村堤防からみる津波避難タワーの有効性について―和歌山県串本町串本地区を参考にして―，災害復興研究，関西学院大学災害復興制度研究所，第 3 号，pp.189-193, 2011.
19) 芝山定史：旧串本病院解体跡地について，平成 25 年第 3 回串本町議会定例会一般質問通告，11p., 2013.
20) 太田和良，西田治彦，玉川純次：串本町総合的津波対策の取り組みについて，地域安全学会論文集，No.8, pp.307-314, 2006.

(2015. 4. 3 受付)

EVALUATION OF DIFFICULT AREA FOR TSUNAMI EVACUATION IN KUSHIMOTO TOWN, WAKAYAMA PREFECTURE, JAPAN, BASED ON STRONG MOTION PREDICTION AND WALKING EXPERIMENT

Yoshiya HATA, Fumihiro MINATO, Ken-ichi TOKIDA,
Maki KOYAMA, Yasuko KUWATA and Masayuki YAMADA

During a scenario earthquake with M_W9.0 along the Nankai Trough, not only strong motion but also huge tsunami is predicted in Kushimoto Town, Wakayama Prefecture, Japan. Seismic waveforms in the Tsunami attack area were already predicted with very high density based on the SMGA models considering local site effects. In this paper, walking times from evaluation sites of local site effect to designated refuge places were measured. Using non-evacuation time based on the time history of instrumental seismic intensity and measured time based on results of the walking experiment, we evaluated the difficult area for tsunami evacuation in Kushimoto Town.